



PERBANDINGAN KONSUMSI DAYA OLEH ALAT PENGATAUR KECEPATAN MOTOR UNIVERSAL YANG MENGGUNAKAN METODE MODULASI LEBAR PULSA (PWM) DAN METODE TAHANAN DEPAN

Ahmad Antares Adam*

Abstract

A universal motor is a small seri motor with capacity of fractional and subfractional horse power which can be operated at both alternating current and direct current. The speed control of this motor can be done by pulse width modulation (PWM) and rheostat resistance methods. The aim of this research is to compare the power consumed of speed controller with pulse width modulation method and rheostat resistance method. The result of this experiment showed that the speed controller of the PWM method consumed less power from the voltage source than the rheostat resistance one for the same speed and torque.

Key words : *Pulse Width Modulation (PWM), speed controller, rheostat resistance methods*

Abstrak

Motor universal adalah sebuah motor seri berukuran kecil dengan kapasitas daya pecahan dan sub pecahan daya kuda yang dapat dioperasikan baik pada sumber tegangan bolak-balik maupun tegangan searah. Pengaturan kecepatan motor ini dapat dilakukan dengan metoda modulasi lebar pulsa maupun metoda tahanan depan. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan daya yang dikonsumsi oleh alat pengatur kecepatan pada kedua metode ini. Hasil percobaan menunjukkan bahwa untuk putaran motor dan torsi yang sama, alat pengatur kecepatan dengan metoda modulasi lebar pulsa mengkonsumsi daya yang lebih sedikit dari metoda tahanan depan.

Kata Kunci : *Modulasi lebar pulsa, pengaturan kecepatan, metode tahanan depan*

1. Pendahuluan

Motor universal adalah motor seri atau motor seri yang terkompensasi yang didesain untuk beroperasi pada kecepatan dan daya yang sama untuk tegangan searah (DC) ataupun tegangan tegangan bolak-balik (AC) satu fasa yang nilai tegangan rms-nya sama dengan tegangan DC tersebut dan frekuensinya tidak lebih besar dari 60 Hz (Cyne and Martin, 1987). Kecepatan tanpa beban motor ini sangat tinggi, yaitu 20.000 rpm, namun rangkaian jangkarnya telah dirancang untuk tidak rusak pada

kecepatan ini (Theraja and Theraja, 1999). Kecepatan beban penuhnya adalah 4000 sampai dengan 16.000 rpm. Motor ini mempunyai rating daya 1 mili tenaga kuda sampai dengan 1 tenaga kuda.

Pengaturan kecepatan motor universal dapat dilakukan dengan memasang tahanan depan (rheostat resistance) dan tapping medan. Tetapi metoda-metoda tersebut tidak efisien karena terdapat rugi-rugi daya pada tahanan depan (I^2R). Dengan melihat hubungan antara tegangan dengan kecepatan pada motor universal selalu

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

berbanding lurus, salah satu cara pengaturan kecepatan motor universal adalah dengan menghasilkan tegangan yang bervariasi (berubah-ubah). Seiring dengan kemajuan di bidang elektronika daya, tegangan masukan motor yang bervariasi untuk pengaturan kecepatan motor universal dapat dilakukan dengan mengatur besarnya sudut penyalan komponen elektronika daya seperti TRIAC dan SCR.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara daya yang dikonsumsi oleh alat pengatur kecepatan motor universal pada metoda modulasi lebar pulsa dan metoda tahanan depan. Alat pengatur kecepatan pada metoda modulasi lebar pulsa adalah rangkaian PWM sedangkan alat pengatur kecepatan pada metode tahanan depan adalah tahanan geser (rheostat).

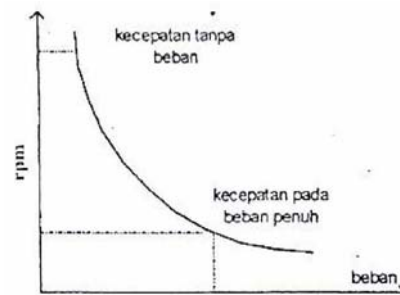
2. Tinjauan Pustaka

2.1 Karakteristik motor universal

Motor universal mempunyai karakteristik motor seri karena berputar pada kecepatan rata-rata bila bebannya juga rata-rata, dan apabila bebannya dikurangi maka kecepatannya akan naik. Motor ini mempunyai sifat-sifat yang sama seperti motor DC seri. Pada pembebanan ringan motor berputar dengan cepat dan menghasilkan kopel yang kecil. Tetapi pada keadaan pembebanan yang berat, maka motornya berputar secara perlahan-lahan dengan torsi yang besar. Jadi, motor mengatur kecepatannya sesuai dengan beban yang dihubungkan kepadanya. Motor jenis ini banyak ditemui antara lain pada: blower, dinamo mesin jahit

rumah, mesin bor, dan mixer (Cyne and Martin, 1987).

Putaran motor universal biasanya tinggi, apalagi dalam keadaan tanpa beban. Maka dari itu, biasanya motor universal dihubungkan langsung dengan beban sehingga putaran motor yang tinggi bisa berkurang dengan pembebanan tersebut.



Gambar 1. Karakteristik kecepatan motor universal

Karakteristik motor universal AC dan DC cukup berbeda karena dua alasan (ibid):

- Pada motor universal dengan sumber tegangan AC, tegangan reaktansi akan timbul pada rangkaian AC ketika sebuah magnet dibentuk oleh arus yang mengalir dalam rangkaian listrik. Tegangan reaktansi ini menyerap sebagian dari tegangan jala-jala dan akan mengurangi tegangan yang diaplikasikan ke jangkar sehingga mengurangi kecepatan motor.
- Dengan sumber tegangan AC, rangkaian magnetis menjadi cukup jenuh pada puncak gelombang arus, dan nilai rms fluks menjadi lebih kecil dibandingkan dengan sumber tegangan DC. Pada keadaan tanpa beban dengan nilai rms

yang sama, torsi cenderung lebih kecil dan kecepatannya lebih tinggi dibandingkan dengan sumber tegangan DC.

2.2 Pengaturan kecepatan Motor universal

Pengaturan kecepatan motor universal adalah dengan cara mengatur besar tegangan yang diberikan kepada motor. Motor universal merupakan motor yang dapat bekerja dengan sumber tegangan AC maupun DC, sehingga pengaturan tegangannya pun dapat dilakukan dengan dua macam yaitu pengaturan dalam bentuk sumber tegangan AC dan pengaturan dalam bentuk sumber tegangan DC. Semakin besar tegangan yang diberikan kepada motor universal ini, maka semakin besar pula kecepatan putarnya. Sebaliknya, semakin kecil tegangan yang diberikan kepadanya, maka semakin kecil pula kecepatannya.

Menurut Theraja (1999) untuk mengatur kecepatan motor universal ada beberapa metoda yang dapat dilakukan, yaitu:

1) Metoda tahanan depan

Kecepatan motor dikendalikan dengan memasang sebuah tahanan variabel R seri dengan motor. Dengan metoda ini kita

dapat mengurangi suplai arus pada motor untuk mengatur kecepatannya.

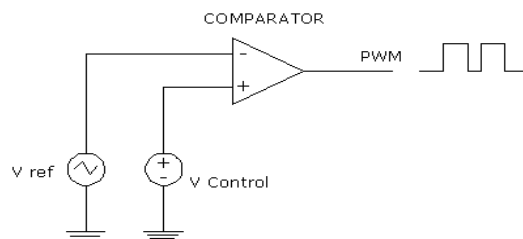
2) Metoda tapping medan

Untuk metoda ini, medan kutub di tap pada beberapa titik dan kecepatan motor dikendalikan dengan merubah-merubah kuat medan. Untuk maksud tersebut, dapat digunakan susunan sebagai berikut:

- Kumparan medan dilihat dalam beberapa bagian dengan ukuran kawat berbeda dan ujung tapping dikeluarkan dari setiap bagian tersebut.
- Kawat tahanan nichrom dililit pada satu kutub medan dan tap dikeluarkan dari kawat tersebut.

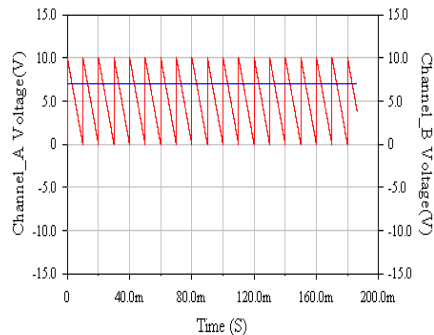
2.3 Rangkaian Pembangkit Modulasi Lebar Pulsa (PWM)

Pulsa PWM dibangkitkan dari perbandingan sinyal referensi (V_{ref}) dan sinyal kontrol (V_{cont}). Sinyal PWM ini digunakan untuk melakukan pengontrolan besarnya waktu T_{on} dan T_{off} yang merupakan representasi dari perbandingan kedua sinyal tersebut. Pembangkit PWM diperlihatkan seperti gambar berikut ini dimana sinyal PWM dihasilkan oleh sebuah komparator.

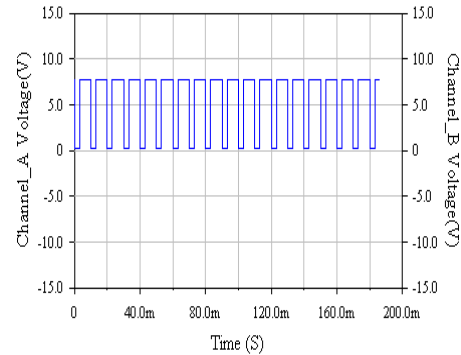


Gambar 2. Pembangkit PWM

*Perbandingan Konsumsi Daya oleh Alat Pengatur Kecepatan Motor Universal
Yang menggunakan Metode Modulasi Lebar Pulsa (PWM) dan Metode Tahanan Depan
(Ahmad Antares Adam)*



(a). Bentuk kedua sinyal input.



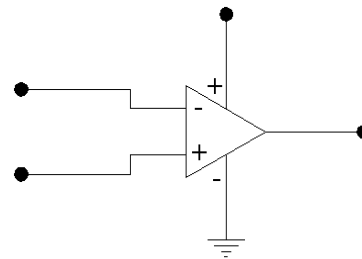
(b) bentuk sinyal output PWM.

Gambar 3. Bentuk sinyal input dan output komparator.

Tegangan kontrol dan gelombang segitiga yang dihasilkan oleh rangkaian pembangkit gelombang dan rangkaian pembagi tegangan diinputkan di kedua input komparator. Komparator ini akan memodulasi gelombang yang masuk yang akan menghasilkan suatu sinyal pengendali berupa gelombang PWM (Mohan et al, 1989)

a. Pembandingan (*comparator*)

Sebuah pembandingan adalah rangkaian dengan dua tegangan input (membalik dan tidak membalik) dan satu tegangan keluaran. Bila masukan tak membalik lebih besar dari pada masukan membalik, pembandingan menghasilkan tegangan keluaran yang tinggi. Bila masukan tak membalik lebih kecil dari pada masukan membalik, keluarannya rendah (Malvino, 1994). Cara yang paling sederhana untuk membuat sebuah pembandingan adalah dengan memasang sebuah Op-Amp tanpa tahanan umpan balik. Sebuah pembandingan dapat dilihat pada gambar 4.

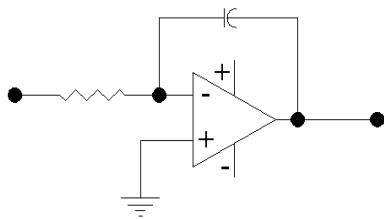


Gambar 4. Gambar sebuah pembandingan (komparator)

b. Ramp Generator

Ramp generator adalah sebuah rangkaian yang melaksanakan operasi matematik karena dapat menghasilkan tegangan keluaran yang sebanding dengan tegangan masukan. Pada prinsipnya *ramp generator* merupakan sebuah rangkaian yang bekerja seperti integrator (Malvino, 1994). Pemakaian yang lazim adalah penggunaan tegangan yang tetap untuk menghasilkan suatu lerengan (ramp) atau sinyal gigi gergaji pada tegangan keluaran. Sebuah lerengan adalah tegangan yang

naik atau turun secara linear. Dengan menggunakan Op-Amp, maka *ramp generator* dapat dibuat yaitu rangkaian yang menghasilkan sebuah lereng dari masukan empat persegi (gelombang kotak). Gambar 5 adalah sebuah integrator yang prinsip kerjanya sama dengan *ramp generator*.



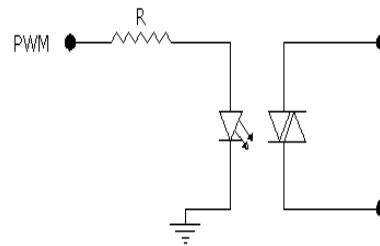
Gambar 5 Integrator

c. Optocoupler

Sebuah optocoupler (Optoisolator) menggunakan led dan komponen foto dioda, foto transistor atau foto diac dalam satu kemasan. Pada optocoupler driver triac, terdapat led pada sisi inputnya dan foto diac pada sisi outputnya. Modulasi lebar pulsa merupakan input led dan resistor seri mengatur arus yang menyuplai led. Kemudian cahaya dari led mengenai foto diac dan akan mengatur arus balik pada rangkaian output. Saat lebar pulsa PWM berubah, jumlah cahaya yang dihasilkan juga akan berubah. Ini berarti tegangan output berubah bersamaan dengan berubahnya tegangan input.

Keuntungan pokok optocoupler adalah terjadinya isolasi elektrik antara rangkaian input dan output. Dengan optocoupler, hanya terdapat kontak input dan output dalam bentuk pancaran sinar. Oleh

karena itu dimungkinkan untuk mengisolasi resistansi antara dua rangkaian dalam orde ribuan mega Ohm. Isolasi seperti ini berguna dalam aplikasi tegangan tinggi dimana dapat memisahkan rangkain tegangan tinggi dengan rangkain kontrol tegangan rendah. Pada pengaturan kecepatan pada motor universal, pulsa PWM yang dihasilkan oleh komparator digunakan untuk menggerakkan optocoupler. Sehingga tegangan pada motor dapat diatur berdasarkan sinyal PWM.



Gambar 6. Optocoupler menggabungkan LED dan foto diac

3. Metodologi

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mesin-mesin Listrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Tadulako. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

- Mengumpulkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk melakukan penelitian pengaturan kecepatan motor universal, baik dengan menggunakan metode modulasi lebar pulsa, maupun metode tahanan depan.
- Membuat alat pengatur kecepatan motor universal dengan metoda PWM.

Langkah-langkah pembuatan alat:

- a) Perancangan rangkaian elektronika berdasarkan teori dan spesifikasinya.
- b) Perakitan masing-masing blok rangkaian pada papan PCB untuk memudahkan penyambungan dan pengujian laboratorium.
- c) Pengecekan ulang pada rangkaian yang telah selesai dibuat.

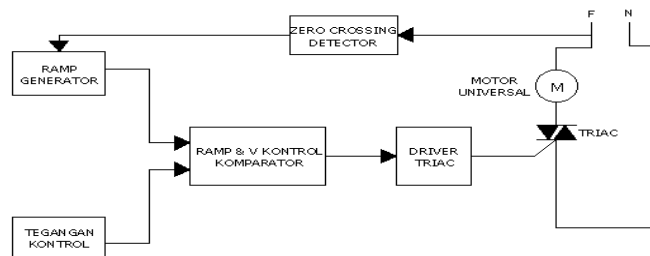
Diagram blok rangkaian alat pengatur kecepatan motor universal dengan metoda PWM diberikan pada gambar 7.

- c. Melakukan pengujian laboratorium
Pengujian laboratorium dilakukan dengan maksud untuk mengetahui tingkat keberhasilan rangkaian, membandingkan nilai konsumsi daya pada pengatur kecepatan dengan metoda PWM dan metoda tahanan depan. Pengujian ini meliputi:
 - a) Pengujian alat
Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan kinerja dan tingkat keberhasilan dari proses perancangan dan pembuatan rangkaian pengatur kecepatan motor universal.
 - b) Pengujian nilai konsumsi daya alat pengatur kecepatan

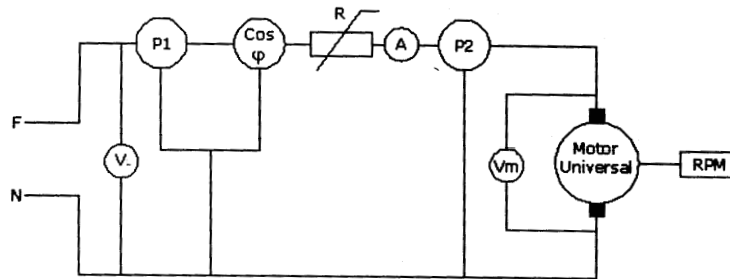
(tahanan geser) pada pengaturan kecepatan menggunakan tahanan depan.

Pengujian ini dilakukan dengan memasang tahanan geser (rheostat) yang seri dengan motor. Dilakukan pengaturan kecepatan yang bervariasi (dari nilai tahanan 0, 25, 50, 75, 100 Ohm) pada beban motor konstan, kemudian dilakukan pembacaan arus, tegangan, daya, faktor daya dan putaran yang terukur pada alat ukur seperti pada gambar 8.

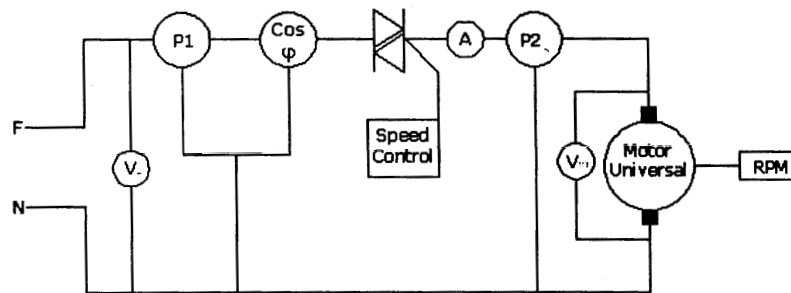
- d. Pengujian Nilai Konsumsi Daya Pada Pengaturan Kecepatan Dengan Metoda PWM
Dengan menggantikan posisi tahanan depan dengan alat pengatur kecepatan dengan metoda PWM, kemudian mengatur nilai kecepatan dan beban (torsi) motor sama dengan pada saat menggunakan metoda tahanan depan. Maka akan dilihat perbedaan nilai konsumsi daya yang diserap oleh kedua rangkaian. Gambar 9 memperlihatkan diagram satu garis pengaturan kecepatan dengan metoda kontrol fasa berdasarkan sinyal PWM.



Gambar 7. Diagram blok rangkaian pengatur kecepatan motor



Gambar 8. Diagram satu garis pengujian pengaturan kecepatan dengan tahanan depan



Gambar 9. Diagram satu garis pengujian pengaturan kecepatan dengan metoda kontrol fasa berdasarkan sinyal PWM

e. Melakukan pengambilan data

Setelah pengujian dilakukan dan rangkaian pengatur kecepatan motor universal bekerja sesuai dengan yang diinginkan maka dilakukan pengambilan data yaitu perbandingan nilai konsumsi daya pada alat pengatur kecepatan dengan metoda PWM dan metoda tahanan depan.

f. Analisa Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian, kemudian dianalisis untuk mengetahui daya yang dikonsumsi alat pengatur kecepatan pada masing-masing metode.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

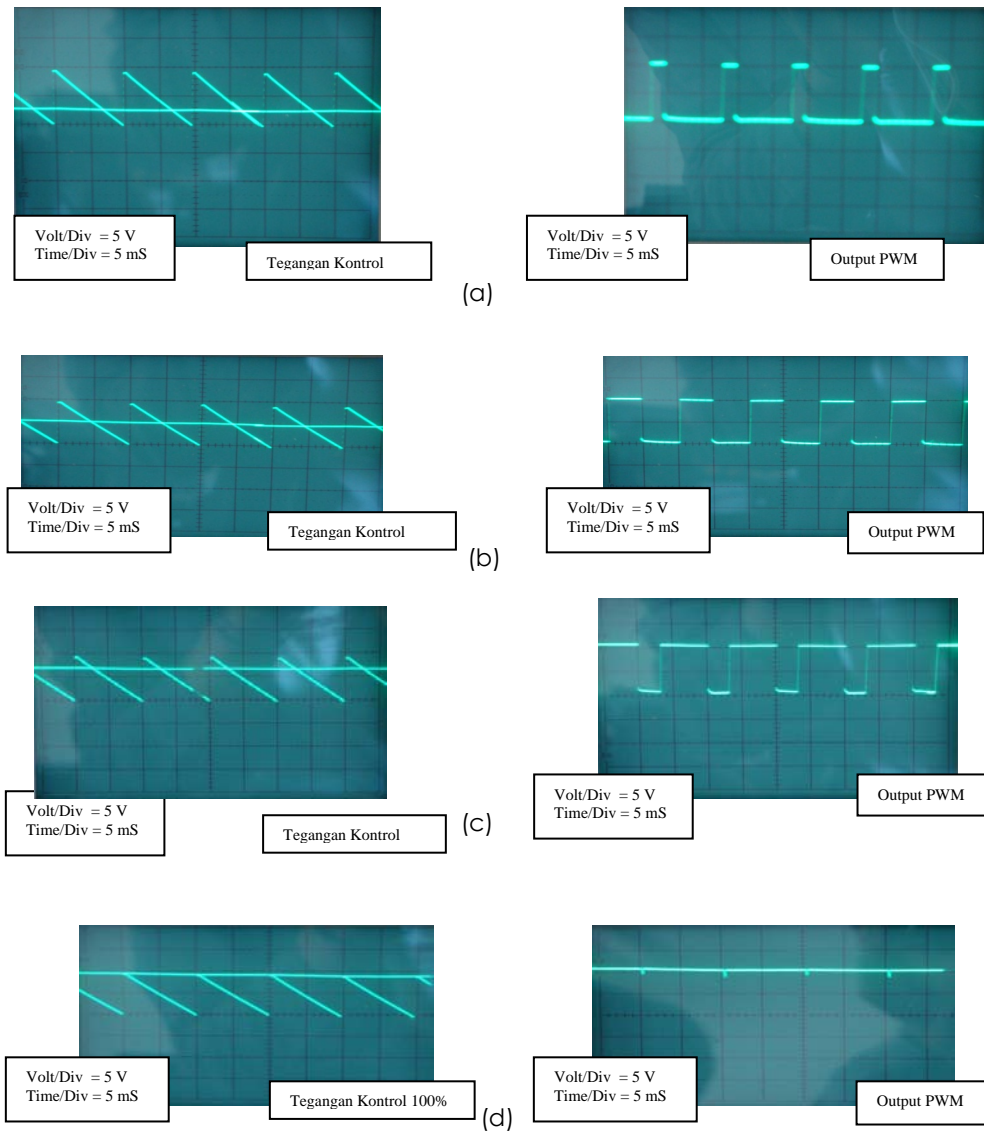
- Motor universal
- Voltmeter 2 buah
- Amperemeter
- Wattmeter 2 buah
- Torsimeter
- Tachometer
- Osiloskop
- cos Φ meter
- Tahanan geser
- Ramp generator
- zero crossing detector
- Ramp & V komparator
- Driver TRIAC
- TRIAC

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil pengujian

Pengujian di laboratorium dilakukan untuk membandingkan nilai konsumsi daya alat pengatur kecepatan pada pengaturan

kecepatan menggunakan tahanan depan dan pengaturan kecepatan dengan metoda PWM. Data pengujian dan pengukuran diperlihatkan pada gambar 10 dan tabel 1 dan tabel 2.



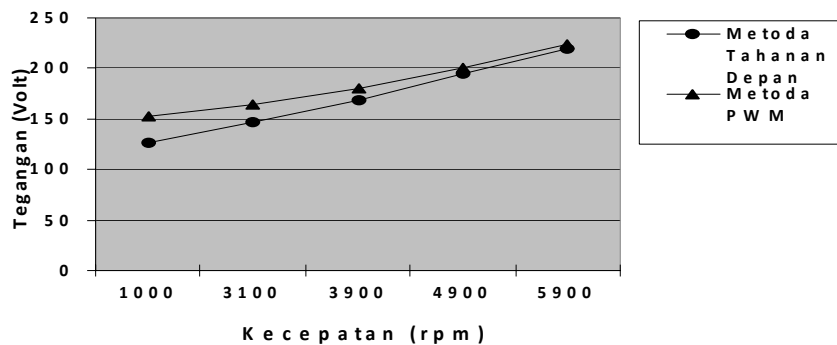
Gambar 10. Perubahan tegangan kontrol terhadap sinyal PWM, (a). Tegangan kontrol 25%, (b). Tegangan kontrol 50%, (c). Tegangan kontrol 75%, (d). Tegangan kontrol 100%

Tabel 1. Nilai konsumsi daya pada pengaturan kecepatan dengan menggunakan tahanan depan (0, 25, 50, 75, 100 Ohm)

No	V _L (Volt)	R (Ohm)	V _{motor} (Volt)	Arus (A)	P ₁ (watt)	P ₂ (watt)	CosØ	Putaran (rpm)	Torsi (N-m)
1	220	100	127	0,95	213	115	0,996	1000	0,1
2	220	75	147	1,1	235	150	0,99	3100	0,1
3	220	50	169	1.12	240	171	0,995	3900	0,1
4	220	25	195	1.13	245	205	0,995	4900	0,1
5	220	0	220	1.14	248	246	0,995	5900	0,1

Tabel 2. Nilai konsumsi daya pada pengaturan kecepatan dengan menggunakan metoda PWM

NO	V _L (Volt)	Sudut a (%)	V _{motor} (Volt)	Arus (A)	P ₁ (watt)	P ₂ (watt)	CosØ	Putaran (rpm)	Torsi (N-m)
1	220	60	130	0,99	112	110	0,98	1000	0,1
2	220	70	148	1,1	158	156	0,99	3100	0,1
3	220	75	162	1,12	180	174	0,985	3900	0,1
4	220	85	192	1,13	210	206	0,995	4900	0,1
5	220	100	220	1,14	245	240	0,99	5900	0,1



Gambar 11. Grafik perubahan tegangan terhadap kecepatan

4.2 Analisa Hasil pengujian

Berdasarkan tabel 1 dan tabel 2 dapat dianalisa perbandingan antara pengaturan kecepatan dengan metoda tahanan depan dan pengaturan kecepatan dengan metoda PWM.

- Hubungan tegangan masukan motor dengan kecepatan

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa perubahan tegangan mengakibatkan terjadinya perubahan kecepatan. Gambar 11 memperlihatkan grafik perubahan tegangan terhadap kecepatan motor.

Dari grafik gambar 11 terlihat bahwa kecepatan putaran motor berbanding lurus dengan kenaikan tegangan. Makin besar tegangan yang diberikan pada motor makin besar pula kecepatannya.

- Perbandingan nilai konsumsi daya pada pengaturan kecepatan dengan metoda tahanan depan dan dengan metoda PWM

Perbandingan nilai konsumsi daya pada pengaturan kecepatan dengan metode tahanan depan dan metode PWM disajikan pada Tabel 3.

Dari hasil pengujian dapat dilihat perbandingan nilai konsumsi daya pada alat pengatur kecepatan dengan metoda tahanan depan dan alat pengatur kecepatan dengan metoda PWM. Perbandingan ini dilakukan pada kecepatan yang sama dan torsi yang konstan, yaitu 0,1 N-m.

- a. Untuk putaran motor 1000 rpm
- Metode tahanan depan, daya yang dikonsumsi alat pengatur kecepatan (ΔP):
 $\Delta P = P_1 - P_2 = 213 - 115 = 98 \text{ Watt}$
 - Metode PWM, daya yang dikonsumsi alat pengatur kecepatan (ΔP):

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 112 - 110 = 2 \text{ Watt}$$

- b. Untuk putaran motor 3100 rpm
- Metode tahanan depan, daya yang dikonsumsi alat pengatur kecepatan (ΔP):

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 235 - 150 = 85 \text{ Watt}$$

- Metode PWM, daya yang dikonsumsi alat pengatur kecepatan (ΔP):

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 158 - 156 = 2 \text{ Watt}$$

- c. Untuk putaran motor 3900 rpm
- Metode tahanan depan, daya yang dikonsumsi alat pengatur kecepatan (ΔP):

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 240 - 171 = 69 \text{ Watt}$$

- Metode PWM, daya yang dikonsumsi alat pengatur kecepatan (ΔP):

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 180 - 174 = 6 \text{ Watt}$$

- d. Untuk putaran motor 4900 rpm
- Metode tahanan depan, daya yang dikonsumsi alat pengatur kecepatan (ΔP):
 $\Delta P = P_1 - P_2 = 245 - 205 = 40 \text{ Watt}$
 - Metode PWM, daya yang dikonsumsi alat pengatur kecepatan (ΔP):
 $\Delta P = P_1 - P_2 = 210 - 206 = 4 \text{ Watt}$

Tabel 3. Perbandingan nilai konsumsi daya pada pengaturan kecepatan dengan metoda tahanan depan dan dengan metoda PWM.

No.	V _L (Volt)	Kec. (rpm)	Torsi (N-m)	Metoda Tahanan				Metoda PWM			
				V _m (V)	I (A)	P ₁ (W)	P ₂ (W)	V _m (V)	I (A)	P ₁ (W)	P ₂ (W)
1	220	1000	0,1	127	0,95	213	115	130	0,99	112	110
2	220	3100	0,1	147	1,1	235	150	148	1,1`	158	156
3	220	3900	0,1	165	1,12	240	171	162	1,12	180	174
4	220	4900	0,1	193	1,13	245	205	192	1,13	210	206
5	220	5900	0,1	220	1,14	248	246	220	1,14	245	240

- e. Untuk putaran motor 5900 rpm
- Metode tahanan depan, daya yang dikonsumsi alat pengatur kecepatan (ΔP):
 $\Delta P = P_1 - P_2 = 248 - 246 = 2 \text{ Watt}$
 - Metode PWM, daya yang dikonsumsi alat pengatur kecepatan (ΔP):
 $\Delta P = P_1 - P_2 = 245 - 240 = 5 \text{ Watt}$

Dari hasil pengukuran daya yang diserap oleh masing-masing alat pengatur kecepatan untuk metode tahanan depan dan metode PWM, terlihat bahwa makin besar nilai tahanan depan yang dihubungkan ke motor, maka makin besar daya yang diserap oleh tahanan ini. Hal ini sesuai dengan persamaan I^2R , dimana R adalah besar nilai tahanan dan I adalah arus. Semakin besar daya yang dikonsumsi oleh tahanan ini, maka putaran motor semakin kecil. Sebaliknya, dengan berkurangnya nilai tahanan yang dihubungkan ke motor, maka daya yang diserap oleh tahanan juga semakin kecil. Hal ini berakibat putaran motor semakin bertambah, karena tegangan masukan ke motor bertambah besar. Pada hasil pengukuran pada tabel 3, besarnya daya yang dikonsumsi tahanan depan yang terbesar adalah 98 Watt pada putaran motor yang terendah yaitu 1000 rpm. Ketika tahanan depan bernilai nol, hanya sedikit daya yang dikonsumsi oleh alat pengatur kecepatan ini, yaitu 2 Watt. Seiring dengan semakin kecilnya daya yang diserap oleh tahanan, maka motor akan menyerap tegangan penuh dari jala-jala (220 V). Hal ini menyebabkan motor berputar dengan kecepatan tanpa bebannya, yaitu 5900 rpm.

Kerugian daya yang diserap oleh tahanan depan ini tidak akan

terjadi jika metode pengaturan kecepatan motor memakai metode PWM. Pada pengaturan kecepatan motor dengan metode PWM, nilai daya yang dikonsumsi oleh alat pengatur kecepatan ini relatif jauh lebih kecil dan cenderung konstan, yaitu hanya berkisar 2 sampai dengan 6 Watt. Sehingga untuk aplikasi penggunaan motor universal di industri yang membutuhkan kecepatan yang berubah-ubah (variabel speed), maka metode PWM lebih efisien dibandingkan dengan metode tahanan depan karena rugi-rugi (konsumsi daya) pada alat pengatur kecepatan jauh lebih kecil. Dengan menggunakan metode ini besar tegangan masukan motor dapat divariasikan, tanpa rugi-rugi yang signifikan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Pada pengaturan kecepatan motor dengan metode tahanan depan, semakin rendah kecepatan motor, maka semakin besar daya yang dikonsumsi oleh alat pengatur kecepatan. Dari hasil pengujian, diperoleh bahwa pada putaran motor universal yang rendah yaitu 1000 rpm, besarnya daya yang dikonsumsi tahanan adalah 98 Watt. Nilai ini terus turun dengan berkurangnya nilai tahanan yang dihubungkan ke motor. Semakin kecil nilai tahanan yang dihubungkan, maka semakin tinggi tegangan yang masuk ke motor, sehingga kecepatan motor juga semakin bertambah.
- Pada pengaturan kecepatan motor dengan metode PWM, nilai daya yang dikonsumsi oleh alat pengatur kecepatan ini relatif jauh

lebih kecil dibandingkan dengan metode tahanan depan, yaitu hanya berkisar 2 sampai dengan 6 Watt. Metode ini lebih efisien untuk aplikasi penggunaan motor universal di industri yang membutuhkan kecepatan yang berubah-ubah (variabel speed), karena dengan metode ini besar tegangan masukan motor dapat divariasikan tanpa rugi-rugi yang berarti.

Technology, S. Chand & Company LTD, New Delhi.

Zuhail., 2000, *Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia, Jakarta.

6. Daftar Pustaka

- Bogart, T.F., et.al., 1997, *Electronic Devices and Circuit*, Prentice Hall, New York.
- Cyne, V.G ; Joseph, Martin E., 1987, *Fractional and Subfractional Horsepower Electric Motors*, Mc. Graw Hill International Edition, Singapore.
- Lister. E.C., 1993, *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Terjemahan Oleh Hanapi Gunawan, Erlangga, Jakarta.
- Malvino, A.P., 1994, *Aproksimasi Rangkaian Semikonduktor*, Terjemahan Oleh Barmawi, Erlangga, Jakarta.
- Malvino, A.P., 1996, *Prinsip-Pinsip Elektronika*, Terjemahan Oleh Barmawi, Erlangga, Jakarta.
- Mohan N., Undeland T.M., and Robbins W.P., 1989, *Power Electronics: Converters, Applications and Design*, Singapore.
- Petruzella, F.D., 1996, *Elektronika Industri*, Terjemahan Oleh Sumanto, Andi, Yogyakarta.
- Theraja, B.L., and A.K. Theraja, 1999, *A Text Book of Electrical*